

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-179604

(43) 公開日 平成9年(1997)7月11日

(51) Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 5 B 13/02			G 0 5 B 13/02	K
F 0 1 K 13/02			F 0 1 K 13/02	B
G 0 5 B 23/02		0360-3H	G 0 5 B 23/02	R
G 0 6 F 17/60			H 0 2 J 3/00	Z
// H 0 2 J 3/00			G 0 6 F 15/21	L
審査請求 未請求 請求項の数21 O L (全 18 頁) 最終頁に続く				

(21) 出願番号 特願平8-243338

(22) 出願日 平成8年(1996)9月13日

(31) 優先権主張番号 特願平7-235590

(32) 優先日 平7(1995)9月13日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 飯 野 稔

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1 株式会

社東芝研究開発センター内

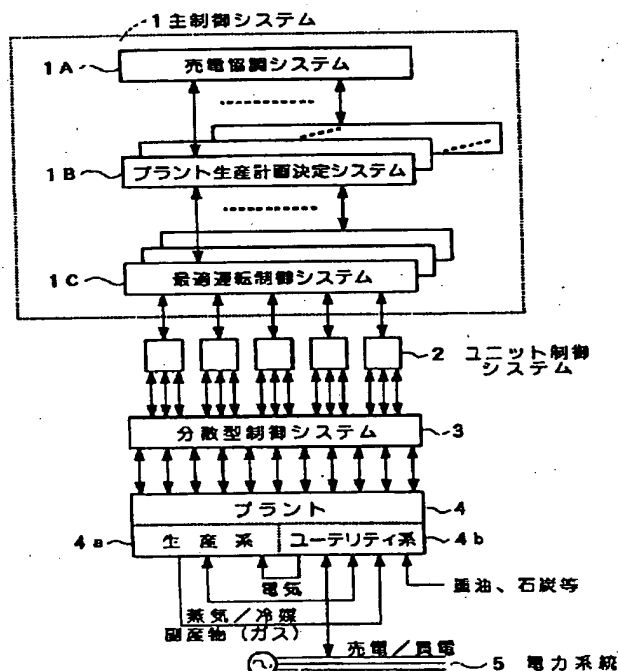
(74) 代理人 弁理士 佐藤 一雄 (外3名)

(54) 【発明の名称】 プラントの運転制御システム及び方法

(57) 【要約】

【課題】 プラントの生産活動の高効率化を達成できるとともに、地球環境保護への貢献をすることを可能にする。

【解決手段】 プラント内に設けられたエネルギー生産手段と、このエネルギー生産手段により生産されたエネルギーを用いてプラント内で製品を生産する製品生産手段と、製品の生産スケジュールをもとにエネルギーの生産スケジュールを設定するエネルギー生産スケジューリング手段と、エネルギーに関する情報をもとに、エネルギー生産スケジューリング手段を調整するスケジューリング調整手段と、前記スケジューリング調整手段により調整されたスケジュールに応じてエネルギーをプラント外に出力するプラント外出力手段と、を有することを特徴とする。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】プラント内に設けられたエネルギー生産手段と、

このエネルギー生産手段により生産されたエネルギーを用いてプラント内で製品を生産する製品生産手段と、前記製品の生産スケジュールをもとに前記エネルギーの生産スケジュールを設定するエネルギー生産スケジュールリング手段と、

エネルギーに関する情報をもとに、前記エネルギー生産スケジュールリング手段を調整するスケジュールリング調整手段と、

前記スケジュールリング調整手段により調整されたスケジュールに応じて前記エネルギーをプラント外に出力するプラント外出力手段と、を有することを特徴するプラントの運転制御システム。

【請求項2】前記スケジュールリング調整手段は、エネルギーの価値情報をもとに前記エネルギー生産スケジュールリング手段を調整することを特徴とする請求項1記載のプラントの運転制御システム。

【請求項3】前記スケジュールリング調整手段は、エネルギーの価格情報をもとに前記エネルギー生産スケジュールリング手段を調整することを特徴とする請求項2記載のプラントの運転制御システム。

【請求項4】前記スケジュールリング調整手段は、エネルギーの販売利益および前記製品の販売利益を含むプラント総利益が最大となるような指令値を出力することを特徴とする請求項3記載のプラントの運転制御システム。

【請求項5】前記スケジュールリング調整手段は、エネルギーの販売価格の変動に応じたスケジュール調整が可能であることを特徴とする請求項3記載のプラントの運転制御システム。

【請求項6】前記スケジュールリング調整手段は、エネルギーの販売価格の予測手段を備えていることを特徴とする請求項3記載のプラントの運転制御システム。

【請求項7】前記スケジュールリング調整手段は、プラントの運転条件、運転制約、想定故障条件、エネルギー余裕条件の少なくともいずれかを考慮する手段を備えていることを特徴とする請求項1記載のプラントの運転制御システム。

【請求項8】前記エネルギー生産スケジュールリング手段は、製品の生産に必要なエネルギー量の予測手段を備えていることを特徴とする請求項1記載のプラントの運転制御システム。

【請求項9】前記エネルギー生産スケジュールリング手段は、プラント内における再生エネルギー量の予測手段を備えていることを特徴とする請求項1記載のプラントの運転制御システム。

【請求項10】前記エネルギーは電気エネルギーであることを特徴とする請求項1記載のプラントの運転制御システム。

2

【請求項11】プラント内に設けられたエネルギー生産手段により生産されたエネルギーを用いてプラント内で製品を生産するためのスケジュールリングにかかる要求内容を表示する第1の表示手段と、

前記製品の生産スケジュールをもとに設定された前記エネルギーの生産スケジュールを表示する第2の表示手段と、

エネルギーに関する情報を表示する第3の表示手段と、

前記エネルギーに関する情報をもとに、前記エネルギー生産スケジュールを調整するためのスケジュールリングにかかる要求内容を表示する第4の表示手段と、

調整された前記エネルギー生産スケジュールに応じて前記エネルギーをプラントに出力するための要求内容を表示する第5の表示手段と、を有することを特徴とするプラントの運転制御システム。

【請求項12】前記第3の表示手段は、エネルギーの価値情報を表示する機能を有することを特徴とする請求項11記載のプラントの運転制御システム。

【請求項13】前記第3の表示手段は、エネルギーの価格情報を表示する機能を有することを特徴とする請求項12記載のプラントの運転制御システム。

【請求項14】前記第4の表示手段は、エネルギーの販売利益および前記工業製品の販売利益を含むプラント総利益に関する情報を表示することを特徴とする請求項13記載のプラントの運転制御システム。

【請求項15】前記第4の表示手段は、エネルギーの販売価格の変動に応じたスケジュール調整が可能であることを特徴とする請求項13記載のプラントの運転制御システム。

【請求項16】前記第4の表示手段は、エネルギーの販売価格の予測内容を表示する機能を備えていることを特徴とする請求項13記載のプラントの運転制御システム。

【請求項17】前記第4の表示手段は、プラントの運転条件、運転制約、想定故障条件、エネルギー余裕条件の少なくともいずれかを表示する機能を備えていることを特徴とする請求項11記載のプラントの運転制御システム。

【請求項18】前記第2の表示手段は、製品の生産に必要なエネルギー量の予測内容を表示する機能を備えていることを特徴とする請求項11記載のプラントの運転制御システム。

【請求項19】前記第2の表示手段は、プラント内における再生エネルギー量の予測内容を表示する機能を備えていることを特徴とする請求項11記載のプラントの運転制御システム。

【請求項20】前記エネルギーは電気エネルギーであることを特徴とする請求項11記載のプラントの運転制御システム。

【請求項21】プラント内で発生したエネルギーを用い

50

3

てプラント内で製品を生産するプラントの運転制御方法において、

前記製品の生産スケジュールをもとに前記エネルギーの生産スケジュールを設定する第1の工程と、

エネルギーに関する情報をもとに、前記第1の工程により設定された前記エネルギー生産スケジュールを調整する第2の工程と、

前記第2の工程により調整されたスケジュールに応じて前記エネルギーの少なくとも一部をプラント外に出力する第3の工程と、を有することを特徴とするプラントの運転制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、自家発電機能を有する各種プラントにおける製品生産と売電との協調をとるプラントの運転制御システム及び方法に関する。

【0002】

【従来の技術】石油精製、石油化学、鉄鋼、セメント、紙パルプなどの各種産業プラントでは、それぞれのプラント運用のために、可燃性副産物、蒸気、熱などの大量のエネルギーを扱い、時には余剰なそれらのエネルギーをプラント外部へ放出している。それらの余剰エネルギーの有効な活用方法として、自家発電により電気エネルギーへ変換し、プラント内の電力として利用することが行われている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】上記の各種プラントは、それぞれの生産計画に従って運用されるため、プラントに必要なエネルギーは時間とともに変動する。一般には生産サイクルにより決定されるある周期でエネルギーが増減する。この変動により、一次的に大量の余剰エネルギーが生じ、生産コスト上、運転効率上の問題となっている。

【0004】一方、各電力会社等においては、電力需要は24時間のサイクル、1週間のサイクル、あるいは1年のサイクルで変動し、発電機器や電力系統をそれらの電力需要変動に追従させるのに多くの労力やエネルギーの損失を生じている。

【0005】したがって、これらのプラントの余剰エネルギーを電気エネルギーへ変換して電力会社等へ売電し、電力需要と協調させることができれば、都市全体として膨大なエネルギーの節約が可能となる。その結果、生産活動の高効率化と同時に省エネによる地球環境保護への貢献も実現できる。

【0006】本発明は上記事情を考慮してなされたものであって、プラントの生産活動の高効率化を達成できるとともに地球環境保護への貢献をすることのできるプラントの運転制御システムを提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明によるプラントの

4

運転制御システムの第1の態様は、プラント内に設けられたエネルギー生産手段と、このエネルギー生産手段により生産されたエネルギーを用いてプラント内で製品を生産する製品生産手段と、前記製品の生産スケジュールをもとに前記エネルギーの生産スケジュールを設定するエネルギー生産スケジューリング手段と、エネルギーに関する情報をもとに、前記エネルギー生産スケジューリング手段を調整するスケジューリング調整手段と、前記スケジューリング調整手段により調整されたスケジュールに応じて前記エネルギーをプラント以外に出力するプラント外出力手段と、を有することを特徴する。

【0008】ここでスケジューリング調整手段は、エネルギーの価値情報をもとにエネルギー生産スケジューリング手段を調整することも可能である。またスケジューリング調整手段は、エネルギーの価格情報をもとに前記エネルギー生産スケジューリング手段を調整することも可能である。またスケジューリング調整手段は、エネルギーの販売利益および製品の販売利益を含むプラント総利益が最大となるような指令値を出力することも可能である。

【0009】またスケジューリング調整手段は、エネルギーの販売価格の変動に応じたスケジュール調整が可能であるようにしても良い。またスケジューリング調整手段は、エネルギーの販売価格の予測手段を備えているようにしても良い。またスケジューリング調整手段は、プラントの運転条件、運転制約、想定故障条件、エネルギー余裕条件の少なくともいずれかを考慮する手段を備えているようにしても良い。

【0010】またエネルギー生産スケジューリング手段は、製品の生産に必要なエネルギー量の予測手段を備えているようにしても良い。またエネルギー生産スケジューリング手段は、プラント内における再生エネルギー量の予測手段を備えているようにしても良い。

【0011】また本発明によるプラントの運転制御システムの第2の態様は、プラント内に設けられたエネルギー生産手段により生産されたエネルギーを用いてプラント内で製品を生産するためのスケジューリングにかかわる要求内容を表示する第1の表示手段と、前記製品の生産スケジュールをもとに設定された前記エネルギーの生産スケジュールを表示する第2の表示手段と、エネルギーに関する情報を表示する第3の表示手段と、前記エネルギーに関する情報をもとに、前記エネルギー生産スケジュールを調整するためのスケジューリングにかかわる要求内容を表示する第4の表示手段と、調整された前記エネルギー生産スケジュールに応じて前記エネルギーをプラント外に出力するための要求内容を表示する第5の表示手段と、を有することを特徴とする。

【0012】前記第3の表示手段は、エネルギーの価値情報を表示する機能を有することも可能である。前記第3の表示手段は、エネルギーの価格情報を表示する機能

5

を有することも可能である。

【0013】また第4の表示手段は、エネルギーの販売利益および前記製品の販売利益を含むプラント総利益に関する情報を表示することも可能である。また第4の表示手段は、エネルギーの販売価格の変動に応じたスケジュール調整が可能である。また第4の表示手段は、エネルギーの販売価格の予測内容を表示する機能を備えていても良い。また第4の表示手段は、プラントの運転条件、運転制約、想定故障条件、エネルギー余裕条件の少なくともいずれかを表示する機能を備えても良い。

【0014】また第2の表示手段は、製品の生産に必要なエネルギー量の予測内容を表示する機能を備えても良い。また第2の表示手段は、プラント内における再生エネルギー量の予測内容を表示する機能を備えていても良い。

【0015】また本発明の第3の態様は、プラント内で発生したエネルギーを用いてプラント内で製品を生産するプラントの運転制御方法において、前記製品の生産スケジュールをもとに前記エネルギーの生産スケジュールを設定する第1の工程と、エネルギーに関する情報をもとに、前記第1の工程により設定された前記エネルギー生産スケジュールを調整する第2の工程と、前記第2の工程により調整されたスケジュールに応じて前記エネルギーの少なくとも一部をプラント外に出力する第3の工程と、を有することを特徴とする。

【0016】また本発明の第4の態様の最適運転制御システムは、各種生産プラントにおいて、予め用意された一種あるいは多種の燃料あるいはプラントの生産過程で生じる一種あるいは多種の副産物燃料を用いて蒸気を発生させるボイラと、前記発生された蒸気のエネルギーによって回転されるタービンと、このタービンに駆動されて発電を行う発電機とを有し、発電した電力の一部を売電する機能を有するプラントの運転を制御する運転制御システムに用いられる最適運転制御システムにおいて、各燃料あるいはプラントの各副産物燃料の消費上下限、ボイラの蒸気発生量上下限、発電機の発電量上下限、売電量上下限、売電量変化率制限、所内消費電力要求量、所内消費あるいは発生蒸気量、および生産プラントの動作条件に関する制約条件の何れかを考慮しながら、プラントの生産利益、売電利益の和から各燃料あるいは各副産物燃料のコスト、プラント運用コストを差し引いたプラント全体利益を最大化するような各燃料消費量の比率、ボイラの蒸気発生量、発電量、売電量を決定する、最適化計算手段と、その結果得られた最適値を、プラント、ボイラ、タービン、発電機のローカル制御系へ指令値として出力する手段と、を備えていることを特徴とする。

【0017】また本発明の第5の態様の最適運転制御システムは、第4の態様の最適運転制御システムにおいて、現在から指定された未来までの時間幅に対し、前記

6

プラントの生産計画を決定あるいは設定する生産計画設定手段と、前記プラントの特性モデルから、副産物燃料発生量、蒸気発生あるいは消費量、所内消費電力を予測する予測手段と、売電価格の未来の変動あるいは、供給すべき売電電力量の上下限、変化率制限条件を設定・記憶する手段と、前記生産計画、前記副産物燃料発生量の予測値、前記蒸気発生あるいは消費量の予測値、前記所内消費電力の予測値、前記売電価格の未来値、供給すべき売電電力量の上限値、変化率制限条件、およびプロセスの動作条件の変更速度制限条件に基づいて最適化計算を行う最適化演算手段と、を備えていることを特徴とする。

【0018】また本発明の第6の態様は、第3または第4の態様の最適運転制御システムに接続されたプラント生産計画決定システムにおいて、プラントのモデルに基づくプラントシミュレータと、プラント生産計画を最適化する生産計画最適化手段と、この生産計画最適化手段により変更されたプラント生産計画を運転員に表示する表示手段と、前記運転員が変更した生産計画を前記最適運転制御システムへ入力する手段とを有し、前記生産計画最適化手段は、前記プラントシミュレータに前記最適運転制御システムを接続し、生産計画の変更に対し、前記プラントの生産利益、売電利益の和から各燃料あるいは各副産物燃料のコスト、プラント運用コストを差し引いた前記プラント全体利益を最大化するような生産計画を探索アルゴリズムにより算出することを特徴とする。

【0019】また本発明による第7の態様の売電強調システムは、売電能力を有する複数のプラント、工場、企業などの発電源に対し、各発電源の売電可能量の未来値を入力する手段と、電力需要予測値を算出あるいは入力する手段と、前記電力需要予測値、送電能力、前記各発電源の売電可能量に基づき、各々発電源に対する最適な売電要求量あるいは売電価格を決定する手段と、前記売電要求量あるいは売電価格を各発電源に送信する手段とを備えていることを特徴とする。

【0020】なお、本発明において対象となるエネルギーは主として電気エネルギーであるが、蒸気エネルギー、燃料がガスエネルギー、冷媒エネルギーなどであってもよい。また、エネルギー生産手段としては、例えばボイラー、タービン、発電機、コンプレッサ等が挙げられる。

【0021】

【発明の実施の形態】本発明によるプラントの運転制御システムの第1の実施の形態を図1乃至図8を参照して説明する。この実施の形態の運転制御システムが適用されるプラントは石油化学プラントである。

【0022】このプラントは原料のナフサからエチレンなどの各種石油化学製品を精製する傍ら、ボイラ、タービン、発電機からなるエネルギー供給系（以下ユーティリティ系ともいう）を有し、ボイラでは、重油、石炭な

7

どのベースとなる燃料と生産プラントから発生する余剰ガスなどの可燃性副産物を混焼するものである。また、ボイラから発生する蒸気の一部を生産プラントで消費、あるいは生産プラントから生じた蒸気を回収し、タービンと発電機で発電した電力の一部は生産プラントで消費し、残りは電力会社、送電会社、配電会社等（以下、単に電力会社ともいう）へ売電し、あるいは電力が不足のときは電力会社から買電する。

【0023】そのプラントの構成を図2に示す。プラントは生産プラント11と燃料ガス、蒸気、電力などのユーティリティ系から構成される。ユーティリティ系は、ボイラ15、タービン16、発電機17より構成される。ボイラ15では、生産プラントから排出され、燃料ガスタンク19に蓄えられた $n-2$ 種類の燃料ガス（可燃性副産物）ガス $g_1 \sim g_{n-2}$ および石炭（微粉炭）と重油あるいは廃油を燃料として蒸気を発生し、蒸気ライン13へ供給する。燃料ガスは燃料ガスライン12へ供給される。複数台のタービン16および発電機17は蒸気ライン13から送出される蒸気に基づいて発電した電力を電力ライン14へ供給する。

【0024】さらに燃料ガスライン12は、燃料ガスの一部を生産プラントへ供給し、蒸気ライン13は蒸気の一部を生産プラント（たとえば蒸留塔のリボイラなど）\*

8

\*に供給し、電力ライン14は、電力の一部を所内電力として供給し、残りを売電、すなわち電力会社の電力系統5へ送電する。場合によっては、電力の所内需要の急増で電力会社から買電することもある。

【0025】この様なプラントに対する本実施の形態の運転制御システムの構成を図1に示す。主制御システム1は上位系の売電協調システム1A、中位系のプラント生産計画決定システム1B、最適運転制御システム1Cより構成される。さらに最適運転制御システム1Cは上述のボイラ、タービン、発電機、蒸留塔などの個々の要素機器（ユニット）に対するユニット制御システム2へ、ユニット制御システム2は個々のバルブにより個々のプロセス量（ボイラのドラム液面レベル、蒸気発生量、タービン入り口圧力など）を制御するローカル制御ループから構成される分散型制御システム3、さらにそこからプラント4の内部の個々のバルブ、センサーなどに接続されている。

【0026】まず、図2および図3を参照して最適運転制御システム1Cに関して説明する。最適化制御演算を定式化するために、図2において、下記の記号を定義する。制御周期を $\tau$  [分]とし、現在の時刻を $k$ 、現在から $j$ ステップだけ将来の時刻を $k+j$ と離散時間で表現する。

燃料ガス $g_1 \sim g_{n-2}$ の単位時間供給量	$u_1(k+j) \sim u_{n-2}(k+j)$	(カロリー換算値/分)
重油単位時間供給量	$u_{n-1}(k+j)$	(カロリー換算値/分)
石炭単位時間供給量	$u_n(k+j)$	(カロリー換算値/分)
ボイラの効率	$\lambda$	(ジュール/カロリー)
$n$ 種類の各燃料のコスト	$\alpha_i \quad (i=1 \sim n)$	(円/カロリー)
$n$ 種類の各燃料の貯蔵量	$X_i \quad (i=1 \sim n)$	(カロリー換算値)
$n$ 種類の各燃料の単位時間供給量上限	$u_{imax}(k+j)$	(カロリー換算値/分)
各種燃料ガスの発生量あるいは石炭、重油燃料のタンクへの供給量	$v_i \quad (i=1 \sim n)$	(カロリー換算値/分)
燃料ガスの生産プラントへの単位時間供給量（需要）	$F_{load}(k+j)$	(ジュール/分)
蒸気単位時間発生量	$S_{total}(k+j)$	(ジュール/分)
蒸気のプロダクションプラントへの単位時間供給量（需要）	$S_{load}(k+j)$	(ジュール/分)
タービンにおける単位時間蒸気消費量	$S_{gen}(k+j)$	(ジュール/分)
タービン、発電機の発電効率	$\eta$	(ワット/[ジュール/分])
単位時間発電量	$E_{gen}(k+j)$	(ワット)
所内電力単位時間消費量	$E_{load}(k+j)$	(ワット)
単位時間売電量	$E_{out}(k+j)$	(ワット)
売電価格	$\alpha_e(k+j)$	(円/ワット×分)

このとき、各変数間に成立する関係式（制約条件）は以下

のとおりである。

50 【数1】

【0027】

9

10

各燃料の上下限制限

$$0 \leq u_i(k+j) \leq u_{imax}(k+j) \quad (i=1 \sim n) \quad (1)$$

各燃料貯蔵量の制限

$$X_i(k+j) = X_i(k) - \sum_{jj=1}^j u_i(k+jj) + \sum_{jj=1}^j v_i(k+jj) \quad (2)$$

$$(i=1 \sim n, \quad j=1 \sim jmax)$$

$$X_{imin}(k+j) \leq X_i(k+j) \leq X_{imax}(k+j) \quad (j=1 \sim jmax) \quad (3)$$

$$\text{生産プラントの燃料ガス需要} \quad F_{load}(k+j) \leq \sum_i^{n-2} u_i(k+j) \quad (j=1 \sim jmax) \quad (4)$$

蒸気バランス

$$S_{totalmax} \geq S_{total}(k+j) = \lambda \cdot \left( \sum_{i=1}^n u_i(k+j) - F_{load}(k+j) \right) \quad (5)$$

$$\geq S_{gen}(k+j) + S_{load}(k+j) \quad (j=1 \sim jmax) \quad (6)$$

電力バランス

$$E_{gen}(k+j) = \eta S_{gen}(k+j) \\ = E_{load}(k+j) + E_{out}(k+j) \leq E_{gennax} \quad (7)$$

$$E_{outnin}(k+j) \leq E_{out}(k+j) \leq E_{outmax}(k+j) \quad (j=1 \sim jmax) \quad (8)$$

評価関数

$$J = \sum_{j=1}^{jmax} \left[ \sum_{i=1}^n (-\alpha_i \cdot u_i(k+j) + \alpha_e(k+j) \cdot E_{out}(k+j)) \right] \quad (9)$$

【0028】上式の(1)～(8)式は燃料、蒸気、電力といった形態の異なる各エネルギーのバランス式およびそれぞれの交換に伴う関係式、各変数の制約式など\*で、最適化計算上の拘束・制約条件である。さらに、個々のエネルギー配分設定値の変化率制限条件を以下の様に設定することも可能である。

$$\begin{aligned} \Delta u_{imin}(k+j) &\leq \Delta u_i(k+j) \leq \Delta u_{imax}(k+j) \\ \Delta u_i(k+j) &= u_i(k+j) - u_i(k+j-1) \quad (i=1 \sim n) \\ \Delta S_{min}(k+j) &\leq \Delta S_{total}(k+j) \leq \Delta S_{max}(k+j) \\ \Delta S_{total}(k+j) &= S_{total}(k+j) - S_{total}(k+j-1) \\ \Delta E_{outmin}(k+j) &\leq \Delta E_{out}(k+j) \leq \Delta E_{outmax}(k+j) \\ \Delta E_{out}(k+j) &= E_{out}(k+j) - E_{out}(k+j-1) \quad (10) \end{aligned}$$

評価関数(9)式は、売電による利益から燃料コストを差し引いた、ユーティリティ系の生ずる利益を意味する。なお、ここでは、ユーティリティ系に対するプラント最適運転制御システムなので、生産プラント側の生産利益は含めていないが、それらの項を含めることにより

同時に考慮することも可能である。

【0029】最適運転制御システム1Cの構成を図3に示す。プラント生産計画設定手段1C1では、上位系であるプラント生産計画決定システム1Bから送出されるプラント生産計画すなわち現時刻から例えば24時間先

11

までの未来の各プロセス量設定値（未来目標値）を記憶する。プラント状態予測手段1C<sub>2</sub>では、プラント生産計画設定手段1C<sub>1</sub>から受け取ったプラント生産計画とプラントモデル1C<sub>2a</sub>を用いたシミュレーションにより、生産プラントの未来の副産物（燃料ガス）の発生量\*

$$\begin{aligned} & \text{燃料消費量上限値} & u_{\text{imax}} & (i=1 \sim n) \\ & \text{燃料貯蔵量上下限值} & X_{\text{imax}}, X_{\text{imin}} & (i=1 \sim n) \\ & \text{蒸気発生量上限値} & S_{\text{totalmax}} \\ & \text{発電量上限値} & E_{\text{genmax}} \\ & \text{ボイラ効率}\lambda、 & \text{発電効率}\eta \end{aligned}$$

およびユニット制御システム2から(10)式に示すプラント動作条件変更速度制限値、などを入力し、(1)～(8)、(10)式の制約式、拘束式を準備する。売電価格（または要求量）未来値設定手段1C<sub>3</sub>では、売電協調システム1Aから売電価格あるいは要求量の未来値を受け取り、記憶し、評価関数設定手段1C<sub>4</sub>や制約・拘束条件設定手段1C<sub>5</sub>へ売電価格 $a_e(k+j)$ 、売電上下限值 $E_{\text{outmax}}(k+j)$ 、 $E_{\text{outmin}}(k+j)$ などを送信する。評価関数設定手段1C<sub>4</sub>では、(9)式の評価関数を準備する。最適化演算手段1C<sub>6</sub>では、制約式、拘束式(1)～(8)、(10)式および評価関数(9)式を受け取り、線形計画法あるいは非線形計画法に基づく最適化計算を行う。

【0030】本実施の形態のケースでは、全ての評価関数、制約条件は線形であり、線形計画法が適用できる。そのために(1)～(10)式を

$$\text{評価関数} \quad J = c^T X \quad (11)$$

$$\text{制約条件} \quad AX \geq b \quad (12)$$

$$X = [u_1(k+1) \sim u_n(k+j_{\text{max}}), S_{\text{total}}(k+1) \sim, E_{\text{out}}(k+1) \sim]^T$$

(X, c, bはベクトル、Aは行列)という行列・ベクトル表現に変換し、評価関数(11)式を制約条件(12)式の元で最大化する解を線形計画法で算出する。線形計画法の具体的手順は、例えば

今野 浩：線形計画法、日科技連(1987)

などに記載されている手法を用いる。求められた最適解Xから最適燃料消費量 $u_i(k+j)$  ( $i=1 \sim n, j=1 \sim j_{\text{max}}$ )、最適蒸気発生量 $S_{\text{total}}(k+j)$ 、( $j=1 \sim j_{\text{max}}$ )、最適売電量 $E_{\text{out}}(k+j)$ 、( $j=1 \sim j_{\text{max}}$ )を求め、これらのエネルギー配分最適値を設定値として、ボイラ、タービン、発電機などの個々のユニットに対するユニット制御システム2へ指令値として送信する。これらの最適化計算を含む一連の処理は制御周期 $\tau$ ごとに実時間で実行される。また、各指令値は現在の目標値のみではなく、現在時刻kから未来時刻k+j<sub>max</sub>までの一連の未来目標値応答である。その理由は、各ユニット制御システム2の内部で、未来目標値を用いてモデル予測制御方式による先行的制御を行い、各ユニットの目標値への追従性を改善するためである。以上が図3に示した最適運転制御システム1Cの概要である。

12

\* $v_i(k+j)$ 、蒸気要求量（あるいは発生量） $S_{\text{load}}(k+j)$ 、燃料ガス要求量 $F_{\text{load}}(k+j)$ 、所内電力需要 $E_{\text{load}}(k+j)$ を予測し、制約・拘束条件設定手段1C<sub>5</sub>へ送信する。制約・拘束条件設定手段1C<sub>5</sub>では、その他にプラントの各種制約条件として、

$$(i=1 \sim n)$$

$$(i=1 \sim n)$$

【0031】次に、プラント生産計画決定システム1Bについて説明する。その構成を図4に示す。プラント管理者インターフェイス1B<sub>1</sub>では、オペレータに生産計画（プラント運転スケジュール）を表示したり、その入力、修正、および最終的に決定した生産計画の最適運転制御システム1Cへの送信などを可能にする。生産計画設定部1B<sub>2</sub>では生産計画すなわちプラントの各プロセス量設定値の未来値が記憶されている。

【0032】売電量予測手段1B<sub>3</sub>では、生産計画設定部1B<sub>2</sub>から読み出した生産計画データに基づき、プラントシミュレータ1B<sub>4</sub>を用いて、現在から例えば72時間先までのユーティリティ系におけるエネルギー配分および売電量 $E_{\text{out}}(k+j)$ をシミュレーション計算する。ここで、プラント管理者インターフェイス1B<sub>1</sub>からオペレータにより、製品の在庫状況、燃料単価、原料単価、市場状況などのデータを設定することができる。また、プラントシミュレータ1B<sub>4</sub>へはオペレータがプラント、機器の起動や停止あるいは突然の故障などのトラブルのシナリオを設定したり、実際のプラント側から最適運転制御システム1Cを通じて現在の運転条件、機器の稼働・停止状況、故障状況などを入力し、それらの条件を踏まえたシミュレーションができるようになって

【0033】生産・売電利益予測手段1B<sub>5</sub>では、売電量予測手段1B<sub>3</sub>で予測されたエネルギー配分、売電量の予測値、および生産計画、燃料単価や原料単価などの価値情報や、売電協調システム1Aから受信した売電予定価格 $a_e$ などの情報（エネルギーに関する情報）に基づき生産利益と売電利益の総和であるプラント運用利益の予測値を算出する。生産計画最適化手段1B<sub>6</sub>では、生産計画設定部に記憶された生産計画データを微小量変更しながら以下の手順で徐々に生産・売電利益が増加する方向に生産計画を変更していく。

【0034】ステップ1：生産計画初期値を $X(i)$ 、 $i=0$ とし、それに対する生産・売電利益予測値を売電予測手段1B<sub>3</sub>、プラントシミュレータ1B<sub>4</sub>および生産・売電利益予測手段1B<sub>5</sub>を用いて計算する。ステップ2：m個の乱数を発生させそれに基づきm種類の生産計画微小変更 $\Delta X(j)$ を決定する。

ステップ3：生産計画 $X(i) + \Delta X(j)$ 、 $j=1 \sim m$ に

13

対する生産・売電利益予測値を同様に計算し、そのなかで最も利益向上度合いの大きいものを選定する。

ステップ4:  $X(i+1) = X(i) + \gamma \Delta X(j)$

(ただし、 $j$  は利益向上度合いが最も大きいもの) とし、 $|\Delta X(j)| \leq \epsilon$  なら計算終了、そうでなければ  $i \rightarrow i+1$  としてステップ2へ戻る。ただし、 $\epsilon$  は最適化計算収束判定しきい値、 $\gamma$  は収束加速係数 ( $0 \leq \gamma \leq 1$ ) で、ともにオペレータが設定するものである。

【0035】これらの過程は1ステップずつ、あるいは連続的にプラント管理者インターフェイス1B1を通じてオペレータへ提示され、オペレータがパラメータ $\gamma$ の調整により変更を加速、減速あるいは逆戻り、中断させることができる。最終的にオペレータが満足する生産計画が得られた時点でオペレータの判断により、生産計画データが最適運転制御システム1Cへ送られる。同時 \*

$$\sum_{i=1}^{\max} E_{\text{out}_i}(k+j) \geq E_{\text{total}}(k-j) \quad (13a)$$

$$\left| \sum_{i=1}^{\max} \Delta E_{\text{out}_i}(k-j) \right| \leq \Delta E_{\text{total}}(k+j) \quad (13b)$$

$$\begin{aligned} \text{ただし } \Delta E_{\text{out}_i}(k+j) \\ = E_{\text{out}_i}(k+j) - E_{\text{out}_i}(k+j-1) \end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^{\max} \sum_{j=1}^{\max} \alpha_{e_i}(k+j) \cdot E_{\text{out}_i}(k+j) \leq \alpha_{\text{emax}}(k) \quad (14)$$

また、評価関数設定手段1A<sub>2</sub>は次の評価関数を準備する。

$$J = \sum_{i=1}^{\max} \sum_{j=1}^{\max} \alpha_{e_i}(k+j) \cdot E_{\text{out}_i}(k+j) \rightarrow \text{最小化} \quad (15)$$

【0038】ここで、 $E_{\text{out}_i}$  は  $i$  番目の発電源に対する売電予定量、 $\alpha_{e_i}$  は  $i$  番目の発電源に対して売電を要求する際の売電価格である。上記の制約条件は各発電源の売電量の総和が電力会社の要求する総電力要求量  $E_{\text{total}}$  以上になること、同じく総和の変化率が総電力許容変化幅  $\Delta E_{\text{total}}$  以内に収まること、各発電源に支払う売電に対するコストの総和が電力会社の許可した最大の電力費用  $\alpha_{\text{emax}}$  以下になること、を要求するものである。また、上記の評価関数は売電のコストの総和を最小化することを意味している。

【0039】最適化計算手段1A<sub>3</sub>では、上記の制約条件、評価関数を受け取り、制約条件のもとで評価関数を最小化する変数  $\alpha_{e_i}(k+j)$ 、 $i=1 \sim \max$ 、 $j=1$

14

\*に、売電協調システム1Aからの指令値である売電価格  $\alpha_{e_i}(k+j)$ 、売電量上下限值  $E_{\text{outmax}}(k+j)$ 、 $E_{\text{outmin}}(k+j)$ 、( $j=1 \sim j_{\max}$ )も最適運転制御システム1Cへ送信される。

【0036】次に、売電協調システム1Aについて説明する。その構成を図5に示す。本システムは、複数のプラント、工場、企業におけるプラント生産計画決定システムにオンライン接続されている。また、電力会社の中央給電司令所にもオンライン接続されており、そこから総電力要求量  $E_{\text{total}}(k+j)$ 、その分の電力確保に費やすことが可能な電力費用上限値  $\alpha_{\text{emax}}(k)$ を受け取る。ここで、制約条件設定手段1A<sub>1</sub>は次の制約条件を準備する。

【0037】

【数2】

40

$\sim j_{\max}$ を求める。ここで、各発電源の売電予定量  $E_{\text{out}_i}(k+j)$  は一般には変数  $\alpha_{e_i}(k+j)$  の非線形関数であり、その評価は、

(i) 各発電源のプラント生産計画決定システムへ売電価格  $\alpha_{e_i}$ を送信し、その返答として売電予定量  $E_{\text{out}_i}$ を受け取る。

(ii) 各発電源に対する過去の売電実績を記憶したデータベース1A<sub>6</sub>から売電価格  $\alpha_{e_i}$ に対応する売電量期待値  $E_{\text{out}_i}$ を引き出す。の何れか、あるいは組み合わせで計算する。これらの切り替えはスイッチ1A<sub>5</sub>で行う。従って、最適化計算は非線形計画法を用いる。具体的手法は、例えば

50

今野 浩、山下 浩：非線形計画法、日科技連(197



8)に記載されている方法を用いる。

【0040】また、これらの最適化計算の収束状況は電力管理者インターフェイス1A4へ表示され、オペレータが監視することができる。

$$E_{\max\_i}(k+j) = E_{\text{out\_i}}(k+j) + E_{\text{error}} \quad (16)$$

$$E_{\min\_i}(k+j) = E_{\text{out\_i}}(k+j) - E_{\text{error}} \quad (17)$$

を各発電所のプラント生産計画システムへ送信する。以上が売電協調システム1Aの機能である。

【0042】次に、本システムによる実際のプラント運転例を図6乃至図8に示す。図6はグラフ(f)が売電協調システム1Aにより決定された売電価格、他のグラフはプラント生産計画決定システム1Bにより決定された諸条件の24時間分のスケジュールデータである。

【0043】本プラントでは、3種類の燃料ガス、廃油(オイル)と石炭を燃料としている。3番目の燃料ガスであるエタンの許容消費量予測値 $u_{3\max}$ はグラフ(b)に示されている様に分解炉のデコーキング運転時に若干過剰気味になり、そのあとの再起動時に若干不足気味になるという予測に基づき変動している。廃油(オイル)の許容消費量予測値 $u_{4\max}$ もグラフ(a)の様に生産プラントの状態により使用可能な時間帯が限定されている。生産プラントの生産計画に基づく燃料ガス負荷(要求量)予測値 $F_{\text{load}}$ は、隣接する他の工場のあるプラントの起動、停止スケジュールによりグラフ(c)の様な変動が予測されている。同様に蒸気負荷(要求量)予測値 $S_{\text{load}}$ はデコーキング運転によりグラフ(d)の様に一時的に低下する。また、グラフ(c)、(d)の様に、この日の夜間は雨天になるとの天気予報のデータに基づき、各蒸留塔のリボイラ出力を増加させる必要性が見込まれ、燃料ガスと蒸気の要求量予測値が夜間に増加している。所内電力は従業員の勤務形態に基づいて、グラフ(e)の様な予測値が算出されている。売電協調システム1Aから受信した売電コストはグラフ(f)の様に昼間は電力不足を想定して高価格、夜間は電力過剰を想定して低価格に設定されている。

【0044】次に、これらの生産計画に伴う諸条件に対して、最適運転制御システム1Cが算出した現時刻から24時間先までの各燃料ガス消費量、蒸気発生量、発電量、売電量の最適な分配は図7に示されている。グラフ

(a)は実線が石炭燃料の消費量 $u_5$ で破線がその上限値 $u_{5\max}$ である。石炭は高価なため、売電利益が石炭燃料単価を上回る昼間のみ、上限値ぎりぎりに消費され、その他の時間帯は可能な限り節約されている。グラフ

(b)は実線が燃料ガス(ブタン)の消費量 $u_1$ で破線がその上限値 $u_{1\max}$ である。この燃料ガスは生産プラントの完全な副産物なのでコストは0であり、常に上限値ぎりぎりに最大限消費されている。グラフ(c)は実線が燃料ガス(エタン)の消費量 $u_3$ で破線がその上限値 $u_{3\max}$ である。グラフ(b)と同様に副産物燃料であるため、上限値内で最大限消費されている。グラフ(d)

\*【0041】最終的に最適化計算手段1A3で決定された売電価格 $a_{e\_i}(k+j)$ 、およびそれに対応する売電量期待値 $E_{\text{out\_i}}$ から許容変更幅 $E_{\text{error}}$ に基づき決定した売電量上下限值

$$E_{\max\_i}(k+j) = E_{\text{out\_i}}(k+j) + E_{\text{error}} \quad (16)$$

$$E_{\min\_i}(k+j) = E_{\text{out\_i}}(k+j) - E_{\text{error}} \quad (17)$$

は実線が廃油燃料の消費量 $u_4$ で破線がその上限値 $u_{4\max}$ である。グラフ(b)、(c)と同様に副産物燃料であるため、上限値内で最大限消費されている。グラフ(e)は実線が蒸気発生量 $S_{\text{total}}$ で破線が生産プラントでの蒸気負荷 $S_{\text{load}}$ である。売電価格の高い昼間は積極的に蒸気が発電に使われている。グラフ(f)は実線が発電量 $E_{\text{gen}}$ で破線が所内電力負荷 $E_{\text{load}}$ である。グラフ(g)は実線が供給する燃料ガスの総和 $F_{\text{total}} = \sum u_i$ で破線が生産プラントでの燃料ガス負荷 $F_{\text{load}}$ である。基本的に燃料ガスは副産物でコストが安いので、総消費量は生産計画で決定される上限により決まる。グラフ(h)は売電量である。売電価格の高い昼間のみ最大限に売電が行われ、売電価格の安い夜間はほとんど売電されないことがわかる。グラフ(i)は売電価格である。グラフ(j)は売電により得る各時間帯での利益である。グラフ(h)の結果と同様に売電価格の高額な昼間に売電利益がでていくことがわかる。

【0045】以上の様に、24時間をサイクルとして、売電価格の安い夜間はできるだけ燃料を節約して貯蔵し、売電価格の高い昼間に最大限に蒸気発生、発電、売電をするようなエネルギー配分が求められている。これにより、生産プラント側の燃料ガス、蒸気、電力の需要を満たしながら、売電による運用利益(=売電利益-燃料コスト)を最大にするプラント運転が実現できる。

【0046】次に、これらの最適なエネルギー配分を指令値として受けた各ユニット制御システム2が実際に燃料消費量を制御する様子を図8に示す。このユニット制御システムではモデル予測制御方式が用いられている。すなわち、プラントの個々のユニットに対する詳細な動特性モデルに基づき、ある時間未来までの制御量予測値を計算しながら、それが上述の指令値(未来目標値)に最適に追従するような制御を逐次最適化計算により求めていく方式である。ここでは、1分周期で制御演算(制御量予測計算と操作量最適化計算)が実行されている。予測計算は、約30分先までを1分毎に予測・修正していく。このユニット制御システムはボイラに対し各燃料(石炭、廃油、ブタンガス、エタンガスなど)の消費量を調整する部分で、制御量は燃料ガスラインのガス圧力および蒸気ラインの蒸気圧力で、操作量は各燃料消費量である。

【0047】図8は各変数の応答を表示したもので、縦の実線が現在時刻、それより左側が過去の応答履歴曲線、右側が予測応答曲線である。グラフ(a)は燃料ガスライン圧力(実線)が与えられた設定値(破線)に追

17

従しながら定値制御されている様子がわかる。グラフ (b) では、蒸気ライン圧力 (実線) が設定値 (破線) に完全に追従して一定値に保持されている様子がわかる。グラフ (c) では、最適運転制御システム 1 C から受けた石炭消費量指令値  $u_5$  (破線) に実際の石炭消費量が追従している様子がわかる。ここでは、ボイラの運転条件による燃料変化率制限を考慮しているため、急激な追従は避けられている。グラフ (d) では、同様に最適運転制御システム 1 C から受けたエタンガス消費量指令値  $u_3$  (破線) に実際のエタンガス消費量が追従している様子がわかる。グラフ (e) も同様に、最適運転制御システム 1 C から受けたブタンガス消費量指令値  $u_1$  (破線) に実際のブタンガス消費量が追従している。 \*

$$\min_{\alpha_i} \quad \max_{E_{i,j}} \quad \dots$$

という形の最適化問題として表現できる。その結果、個々のプラントにとっては最も利益の高い運用が実現でき、全体からみれば最も安価に電力を供給できる最適な売電量配分が決定される。

【0050】本実施の形態にかかる最適運転制御システム 1 C により、各種生産プラントの余剰エネルギーを自家発電および売電により有効に活用し、プラント運用コストの低減が図れるとともに、都市全体の省エネ効果により地球環境保護に役立つ。特に、プラントの生産計画やエネルギー需要予測を考慮した最適制御により、プラントに急激な変動を与えずにエネルギー損失を最小にでき、また一定周期ごとの修正計算によりプラント運転条件・環境条件の急変に対しエネルギー供給バランスをすばやく修正することができる。

【0051】また本実施の形態にかかるプラント生産計画決定システム 1 B により、プラントの生産計画を売電価格変動や電力会社からの売電要求量変動のサイクルに対応して最適に調整することができ、従来と同レベルの生産利益を得ながら売電利益を最大にする生産計画を立案できる。また、それらの最適な生産計画をプラントオペレータが対話的に調整、シミュレーション評価しながら有効性を事前に確認することができる。

【0052】また、その結果として、都市の電力需要変動とプラントの生産計画変動を逆位相で同期させ、地域全体としてエネルギー消費量の平滑化に役立てることができる。

【0053】また本実施の形態にかかる売電協調システム 1 A では、複数の工場、生産プラントを含む地域全体の売電量を調整し、電力会社あるいは都市の電力需要に追従させることにより、電力需要・供給バランスの平滑化に役立たせることができる。特に、個々の生産プラントの発電量、売電量が小規模の場合、変動幅が大きい場合でも、複数プラント (発電源) による電力安定供給、平滑供給が実現でき、都市への電力供給源として通常の発電所と同等の役割を果たすことができる。

18

\* 【0048】以上の様に、各ユニット制御システム 2 では、上位系である最適運転制御システム 1 C から受けた各変数の指令値への追従と各プロセス量 (燃料ガス圧力、蒸気圧力など) の一定値保持との妥協点を見いだす制御を実行する。

【0049】最後に本システムの働きについて補足する。本システムは売電協調システムでは与えられた電力要求を満たす条件下で売電コストの総和を最小化する売電価格を決定する。一方、プラント生産計画決定システムは与えられた売電価格の元で売電利益を最大化する売電量を決定する。これらはお互いに売電コスト (あるいは利益) を最小化および最大化するミニマックス問題の一種になる。すなわち、

$$\min_{\text{(売電コスト)}} \quad \max_{\text{(18)}} \quad \dots$$

【0054】次に、前述の第 1 の実施の形態で説明したプラント生産計画決定支援システム 1、2 (図 1、4) の他の実施の形態を説明する。その概観を図 9 に示す。第 1 の実施の形態と異なるのは、プラント生産計画決定支援システムが単独の形で利用される点である。システム本体 30 にはオペレータ 90 に運転状況の表示やアラーム表示など各種の表示を行うディスプレイ 32 とキーボード、ポインティングデバイス 33 などの入力装置より構成される。また、他の同種システムとデータ交換するための通信回線 38 および分散型制御システム DCS との通信回線 36 のインターフェイス (図示せず) を有する。なお、これらの回線は同期通信でも非同期通信でもよく、また公衆回線、無線通信、衛星通信、光通信などいずれの通信手段も有り得る。

【0055】本システムの機能構成を図 10 に示す。以下、この図に従って各機能を説明する。オペレータ 90 は生産スケジュール設定画面 41 を通して対話的に生産プラントの最適スケジュール (運転計画データ) を作成する。オペレータ 90 はプラント個々の生産計画データを手入力あるいは運転のシナリオが格納されたシナリオデータベース 42 から選択して入力する。

【0056】プラントシミュレータ 43 では、プラントの静特性モデル (マスバランスモデル、エネルギーバランスモデル) などをモデルデータベース 44 から入力し、設定されたプラントの運転計画データに基づき現在から将来に渡る所内動力 (電力、蒸気、各種燃料、冷媒など) の需要予測データと、所内で生成される再生燃料 (たとえば鉄鋼における高炉ガス BFG、コークスガス COG など) の発生量予測値を計算する。

【0057】また、売電価格予測機能 45 では、電力の変動要因である季節、曜日、天候、気象条件などの条件データを入力し、過去の売電価格に関するデータベース 46 から類似した条件の売電価格を検索することにより、現在から将来に渡る売電価格変動の予測値を算出する。あるいは、売電価格のかわりに、売電要求量の将来

19

変動予測値を算出する場合もある。

【0058】これらの現在から将来に渡る所内動力需要予測値、再生燃料予測値、売電価格（あるいは要求量）予測値のデータに基づき、最適化計算機能47では、最適な売電計画、各ユニット（ボイラー、タービン、ジェネレータなど）に対する最適な負荷配分計画を算出する。その具体的計算方法は、前述の第1の実施の形態で示した(1)～(12)式の手順と同様である。

【0059】また、そこではプラントの諸変数に対する制約条件として、生産量の下限、品質の下限などを規定する運転制約条件、個々のユニットに関する発電量制約、蒸気量制約などの機器制約条件、一部の機器の故障などに伴う運転形態の変更などの制御モード条件、トータルの蒸気発生量、発電量の現在値から最大値までの最低限の余裕に関するエネルギー余裕条件などを外部から設定することにより考慮して最適化計算を行う。

【0060】さらに、対故障エネルギー余裕算出機能48では、過去に生じた機器故障などの代表的な故障に対するシナリオが格納された故障シナリオデータベース49から選択した故障シナリオに従って、その場合に、総発電量>要求発電量、総蒸気発生量>蒸気要求量、個々の燃料消費量<燃料消費量上限、などの条件が満たされるようなエネルギー余裕条件を算出し、最適化計算機能47に入力することもできる。

【0061】最適化計算機能47より算出された最適売電計画データ、ボイラ、タービン、ジェネレータ等に対する最適負荷配分計画データなどに基づき、利益評価計算機能50でプラントの生産利益、売電利益などが計算され、オペレータ端末上に表示される。オペレータ90はこの結果を見ながら試行錯誤的にプラント運転スケジュールを調整する。

【0062】もう一つの機能として、スケジュール自動調整機能51により自動的にスケジュールの最適化を行うこともできる。たとえば、あるプラントの運転時間を変数にして、生産利益の売電利益の和を最大化する場合、評価関数

最大化：全体利益＝運転利益（運転時間）＋売電利益（余剰電力（運転時間））

の非線形最適化問題になり、山登り法などの手法を用いて自動的に全体利益が最大になる運転時間を求めることができる。なお、ここで、運転利益（運転時間）は運転利益が運転時間のある非線形関数になることを意味している。他も同様である。

【0063】次に、本システムのディスプレイ上での表示画面の実施例を図11及び図12を参照して説明する。図11(a)の符号61は、売電価格予測機能45により算出された売電価格、（あるいは買電価格）の予測値を表示する画面である。したがって、この画面は、エネルギーに関する情報を表示したものである。図11(b)の符号62は生産プラントの生産スケジュールを

20

オペレータが対話的に立案、調整するための画面である。生産量調整ノブ63や起動停止タイミング調整ノブ64の調整により画面上の特定のプラントの生産量などの運転計画データを調整できる。したがって、この画面は、プラント内で製品を生産するためのスケジュールリングにかかわる要求内容を表示したものである。

【0064】図11(c)の符号65はプラントシミュレータ43から算出された所内動力予測値の表示画面である。図11(d)の符号66は同じく、算出された再生燃料や余剰蒸気、冷媒などの再生エネルギー発生量の予測値データを表示する画面である。したがって、これらの画面は、製品の生産スケジュールをもとに設定されたエネルギーの生産スケジュールを表示したものである。

【0065】図12(a)の符号71は、最適化計算機能A7により算出された最適売電計画データの表示画面である。図12(a)の符号72は、利益評価計算機能A10が算出した単位時間あたりの売電利益、燃料コスト、生産利益などの予測値を表示するものである。したがって、これらの画面もまた、エネルギーに関する情報を表示したものである。

【0066】図12(b)の符号73は、あらかじめ設定された、あるいは74で選択された故障モードに従って対故障エネルギー余裕算出機能48が算出したエネルギー余裕（電力余裕、蒸気余裕、燃料余裕（燃料蓄積量）など）を表示する画面である。したがって、この画面は、エネルギーに関する情報をもとに、エネルギー生産スケジュールを調整するためにスケジュールリングにかかわる要求内容を表示したものである。

【0067】図12(b)の符号74は、複数の代表的故障モードから一つを選択する画面で、これに従って、その故障においても所望の売電量、蒸気量、燃料を確保できるエネルギー余裕が対故障エネルギー余裕算出機能48で計算される。

【0068】図12(c)の符号75は売電の運転モードを切り替え、管理するための画面である。これを売電モード管理機能と称する。ここでは、  
ケース1：強制的に指定した量を売電する運転モード  
ケース2：売電なしで自家発電量で所内電力をまかなう運転モード、  
ケース3：買電しながらプラントを運転するモード  
ケース4：売電、自家発電のみ、買電のモードのうち、経済的に最適なものを自動的に選択設定する自由設定モード

があり、いずれかの運転モードをオペレータが選択することができる。ここで、ケース1を選択すると、  
売電量＝設定値、あるいは売電量 $\geq 0$   
という形の制約条件が自動的に設定される。ケース2を選択すると、  
売電量＝0

という形の制約条件が自動的に設定される。ケース 3 を選択すると、

売電量  $\leq 0$

という形の制約条件が自動的に設定される。ケース 4 を選択すると、売電量に関する制約条件は設定が解除される。これらの制約条件は、図 10 に示す最適化計算機能 47 において考慮される。したがって、この画面は、調整されたエネルギー生産スケジュールに応じてエネルギーをプラント外に出力するための要求内容を表示するものである。

【0069】図 12 (d) の符号 76 は、最適化計算機能 47 で用いられる最適化計算のための評価関数、たとえば (9) 式の係数 (燃料単価など) や制約条件の上下限值、ボイラ、タービン、発電機などのエネルギー変換効率係数などを入力設定、変更するための画面である。

【0070】なお、オペレータが画面 62 を見ながらノブ 63、64 のスライダーをポインティングデバイスによって操作することにより、プラントの個々の生産計画を変更すると、それに連動して図 10 に示す各機能が動作し、画面 65~76 にはその結果が直ちに反映される。従って、オペレータは、プラントの運転状況、エネルギー余裕、最終的な利益の予測値を確認しながら最適な生産スケジュールを対話的に決定することができる。

【0071】次に、図 13 において本システムのネットワーク機能を説明する。本システムは図 9 に示した様に他のシステムとの相互通信機能を有する。図の様に  $n$  個所の発電機能を有するプラントが電力系統で接続され、相互に電力供給が可能な場合、 $n$  台のプラント生産計画決定支援システムが用意され、それらは通信回線を通じて接続される。あるシステムは他の  $n-1$  台のシステムと以下の情報のやりとりを実時間で実行機能を有する。

【0072】(1) 他のプラントの最低売電可能量を受信する機能

この機能では他のシステムから発信された個々のプラントの最低売電可能量を受信し、これにより他の  $n-1$  個のプラントから供給される総売電量の下限が計算される。これと  $n$  個のプラント全体として電力会社等への供給義務がある売電下限量との差から自分のプラントの最悪時の必要売電量を計算する。すなわち、  
最悪時の必要売電量 = 売電下限量 -  $\Sigma$  (他プラントの最低売電可能量)

となる。ただし  $\Sigma$  は他の  $n-1$  プラントについての総和を取るという意味である。この様にして計算された最悪時の必要売電量を確保できるようなエネルギー余裕条件が最適化計算機能 A7 に設定される。最適化計算機能 A7 では、設定された生産計画のもとで、実現可能な最大売電量を計算し、それが最悪時の必要売電量未満の場合は、エネルギー余裕が十分でないという意味の警告メッセージを表示しオペレータに知らしめる。

【0073】(2) 任意の事故シナリオに耐え得る最低

売電可能量の発信機能

図 10 の故障シナリオ 49 で想定された全ての故障シナリオについて、その結果の売電可能量を対故障エネルギー余裕算出機能 48 で算出し、他のシステムへ実時間で発信する。

【0074】以上の様なネットワークによる情報通信機能により、相互に最悪のケースを考慮することで、プラントの最悪の故障時でも全体として必要最小限の売電量が確保できるようなプラントの運転計画が作成できる。また、この機能によって、第 1 の実施の形態における上位系の売電協調制御システムと同様の機能が実現できる。

【0075】またオペレータは売電による利益を含めたプラント操業利益予測値や、所内のエネルギーの余裕などの情報を確認しながら、最適な生産スケジュールを対話的にかつ効率的に作成、修正、確認することができる。

【0076】また売電モード管理機能により、対象プラントの運転状態を生産を優先するか売電を優先するか、トータル利益を優先するかといったオペレータの意志決定結果に従って、容易に管理することができる。

【0077】またシステム間の情報通信機能により、相互に最悪のケースを考慮することで、プラントの最悪の故障時でも全体として必要最小限の売電量が確保できるようなプラントの運転計画が作成できる。

【0078】なお、本発明のこのような機能は、例えば磁気的あるいは光学的な記録媒体にソフトウェアの形態で記憶され、コンピュータへのインストール作業によってプラントに所望の運転制御を実現するものであってもよい。つまり、本発明の制御方式は、記録媒体に記憶されたソフトウェアであってもよく、そのような形態であっても同様の効果を期待することができる。

【0079】

【発明の効果】以上述べたように本発明によれば、プラントの生産活動の高効率化を達成できるとともに、地球環境保護への貢献をすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明によるプラントの運転制御システムの構成を示す構成図。

【図 2】石油化学プラントにおける生産プラント、ユーティリティの構成を示す図。

【図 3】本発明によるプラントの運転制御システムにかかる最適運転制御システムの構成図。

【図 4】本発明によるプラントの運転制御システムにかかるプラント生産計画決定システムの構成図。

【図 5】本発明によるプラントの運転制御システムにかかる売電協調システムの構成図。

【図 6】本発明による生産計画に基づく運転条件の時間変化パターンを示すタイムチャート。

【図 7】最適運転制御システムの算出した最適エネルギー

23

一配分を示すタイムチャート。

【図 8】ユニット制御システムによる動的制御応答を示すタイムチャート。

【図 9】本発明にかかるプラント生産計画決定支援システムの概観を示す図。

【図 10】本発明にかかるプラント生産計画決定支援システムの構成を示すブロック図。

【図 11】本発明に用いられる表示画面の表示例を示す図。

【図 12】本発明に用いられる表示画面の表示例を示す図。

【図 13】本発明にかかるプラント生産計画決定支援システムのネットワーク機能を説明する図。

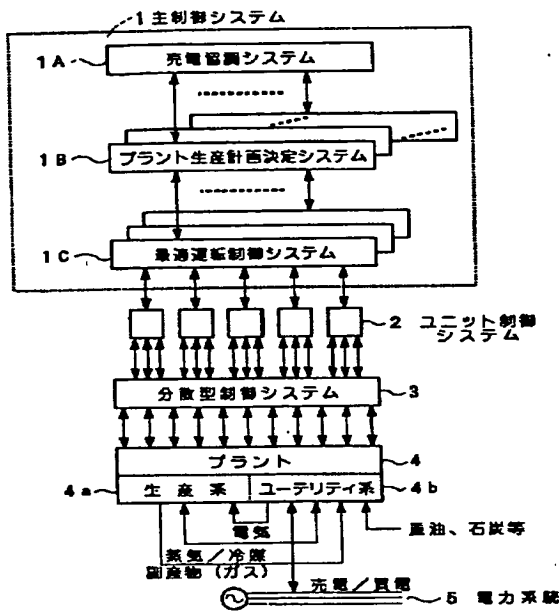
#### 【符号の説明】

- 1 主制御システム
  - 1 A 売電協調システム
    - 1 A<sub>1</sub> 制約条件設定手段
    - 1 A<sub>2</sub> 評価関数設定手段
    - 1 A<sub>3</sub> 最適化計算手段
    - 1 A<sub>4</sub> 電力管理者インターフェイス
    - 1 A<sub>5</sub> スイッチ
    - 1 A<sub>6</sub> データベース
  - 1 B プラント生産計画決定システム
    - 1 B<sub>1</sub> プラント管理者インターフェイス
    - 1 B<sub>2</sub> 生産計画設定部
    - 1 B<sub>3</sub> 売電量予測手段
    - 1 B<sub>4</sub> プラントシミュレータ
    - 1 B<sub>5</sub> 生産・売電利益予測手段
    - 1 B<sub>6</sub> 生産計画最適化手段
  - 1 C 最適運転制御システム
    - 1 C<sub>1</sub> プラント生産計画設定手段
    - 1 C<sub>2</sub> プラント状態予測手段
    - 1 C<sub>2a</sub> プラントモデル
    - 1 C<sub>3</sub> 売電価格（または要求量）未来値設定手段
    - 1 C<sub>4</sub> 評価関数設定手段
    - 1 C<sub>5</sub> 制約・拘束条件設定手段
    - 1 C<sub>6</sub> 最適化演算手段
- 2 ユニット制御システム
- 3 分散型制御システム
- 4 プラント
  - 4 a 生産系（生産プラント）

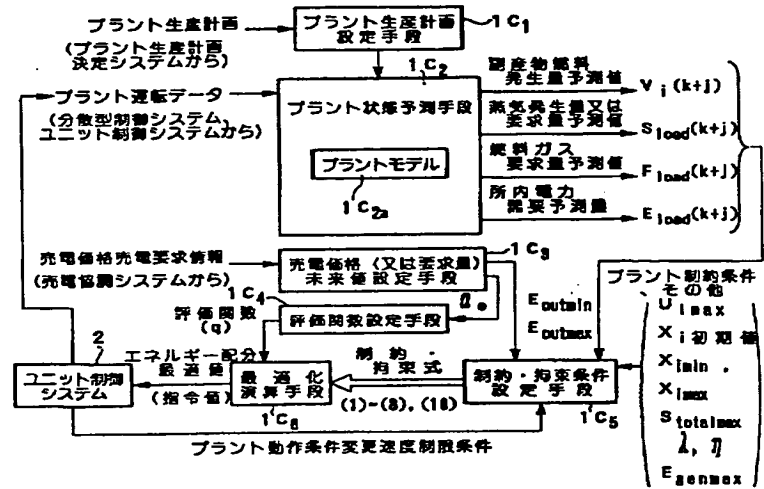
24

- 4 b ユーティリティ系（ユーティリティプラント）
- 5 電力系統
  - 1 1 生産プラント
    - 1 1 a ~ 1 1 c 蒸留塔（生産プラントの一部）
    - 1 2 燃料ガスライン
    - 1 3 蒸気ライン
    - 1 4 電力ライン
    - 1 5 ボイラ
    - 1 6 タービン
    - 1 7 発電機
    - 1 8 燃料ガス供給ライン
    - 1 9 燃料ガス貯蔵タンク
  - 3 0 プラント生産計画決定支援システムの本体
  - 3 2 ディスプレイ
  - 3 3 ポインティングデバイス&キーボード
  - 3 6 DCSへの通信接続回線
  - 3 8 他システムとの通信回線
  - 4 0 生産スケジュール設定画面
  - 4 2 シナリオデータベース
  - 4 3 プラントシミュレータ
  - 4 4 モデルデータベース
  - 4 5 売電価格予測機能
  - 4 6 価格データベース
  - 4 7 最適化計算機能
  - 4 8 対故障エネルギー余裕算出機能
  - 4 9 故障シナリオデータベース
  - 5 0 利益（コスト）評価計算機能
  - 5 1 スケジュール自動調整機能
  - 6 1 売（買）電価格予測機能によって表示された画面
  - 6 2 生産スケジュールを立案・設定するための画面
  - 6 3 生産量調整ノブ
  - 6 4 起動・停止タイミング機能ノブ
  - 6 5 所内動力需要予測機能によって表示された画面
  - 6 6 再生燃料発生予測機能によって表示された画面
  - 7 1 最適売電計画データの表示画面
  - 7 2 売電利益、燃料コスト、生産利益などの予測値の表示画面
  - 7 3 エネルギー余裕の表示画面
  - 7 4 故障モード表示画面
  - 7 5 売電モード管理画面
  - 7 6 評価関数設定画面

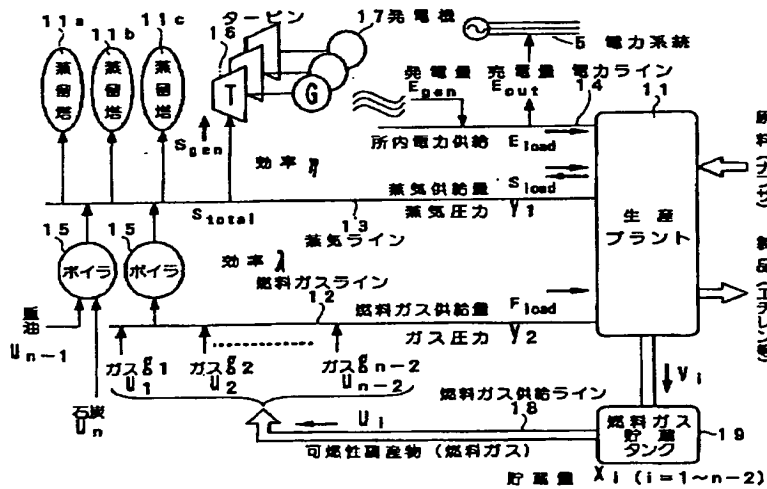
【図1】



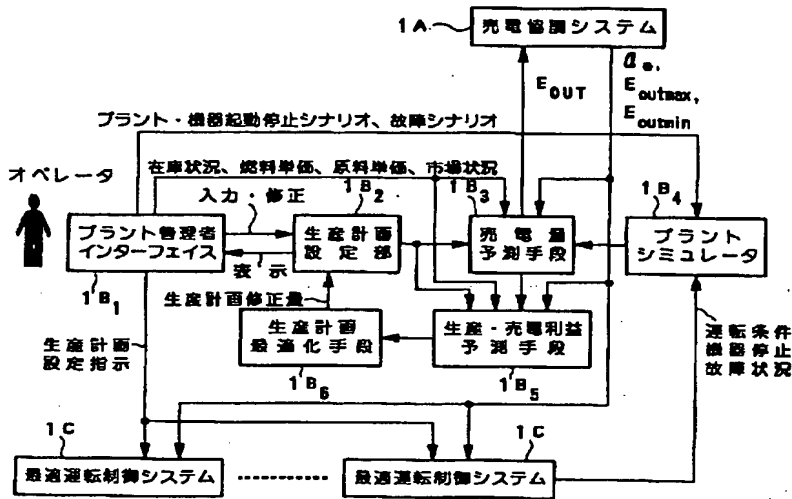
【図3】



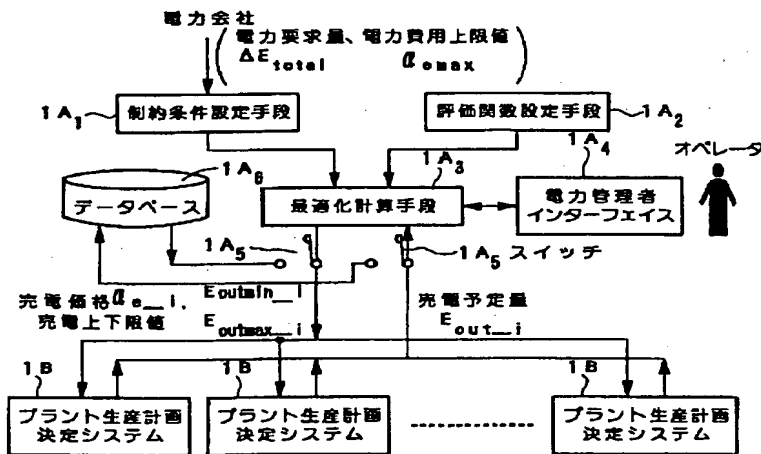
【図2】



【図 4】

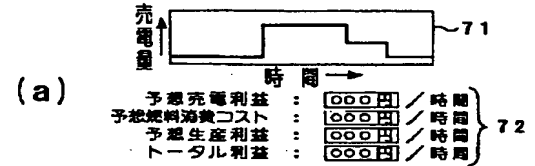


【図 5】

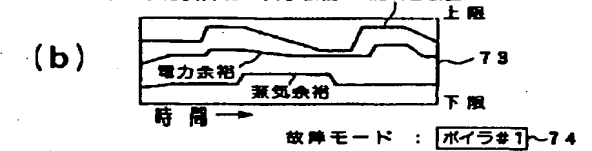


【図 12】

## ● 最適売電量算出・表示機能



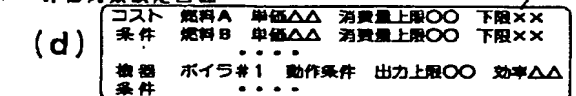
## ● エネルギー余裕度算出・表示機能



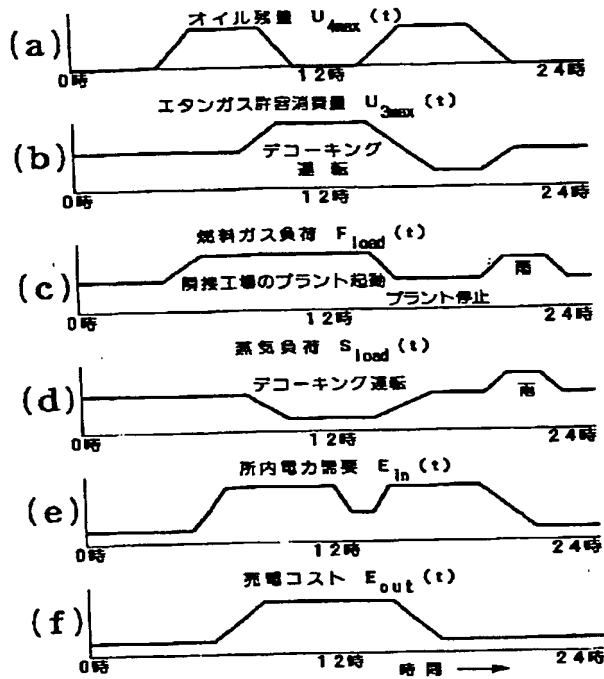
## ● 売電モード管理画面



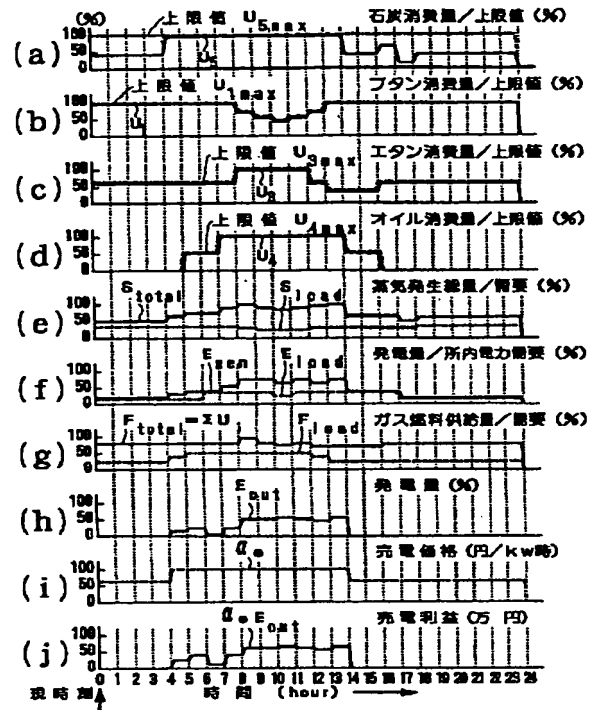
## ● 評価関数設定画面



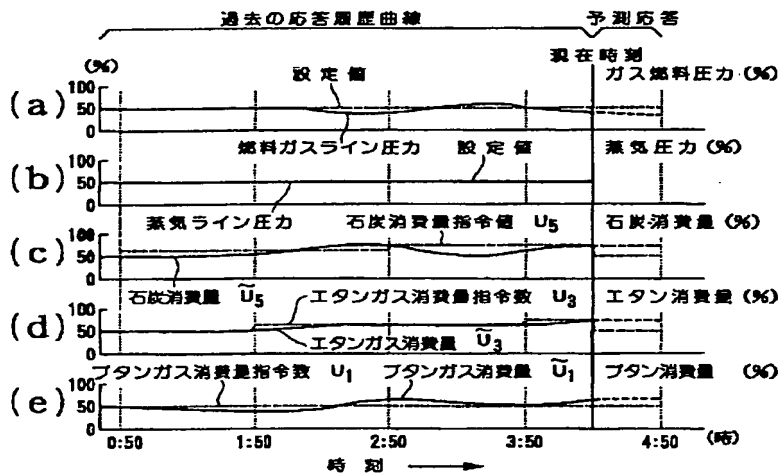
【図6】



【図7】



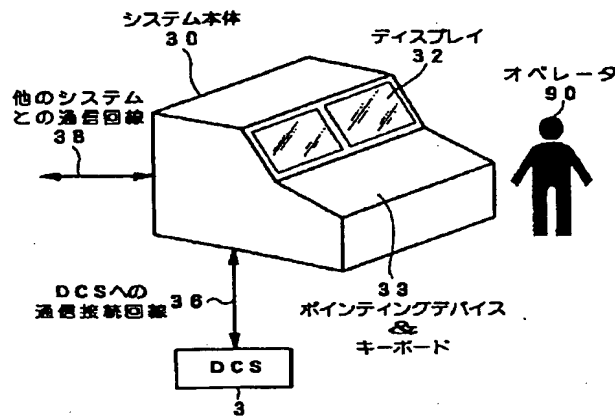
【図8】





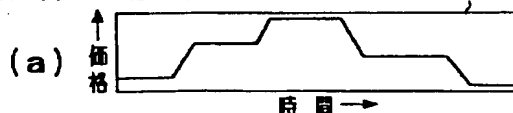
【図9】

## プラント生産計画決定支援システム

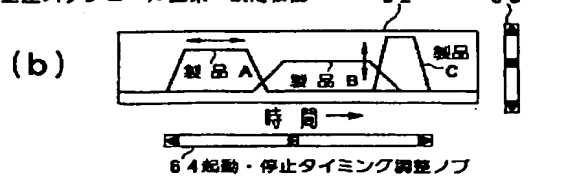


【図11】

## ● 売(買)電価格予測・表示機能(要求量)



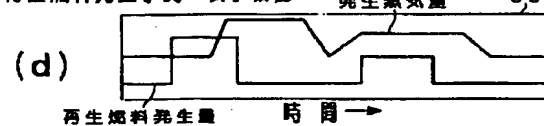
## ● 生産スケジュール立案・設定機能



## ● 所内動力需要予測・表示機能

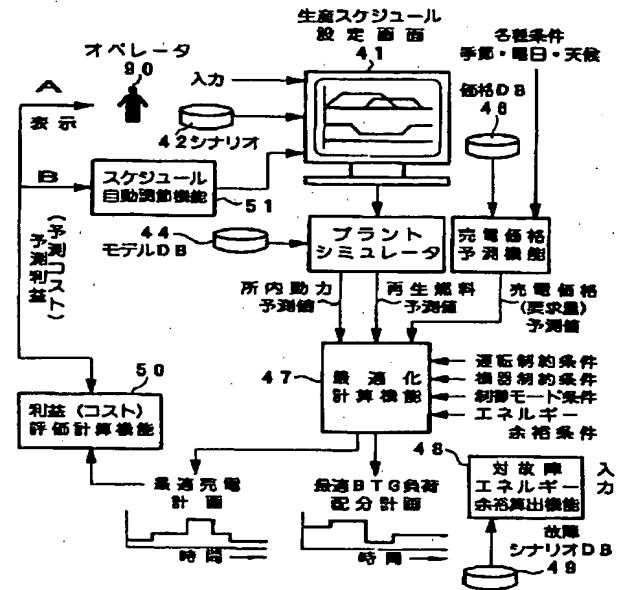


## ● 再生燃料発生予測・表示機能



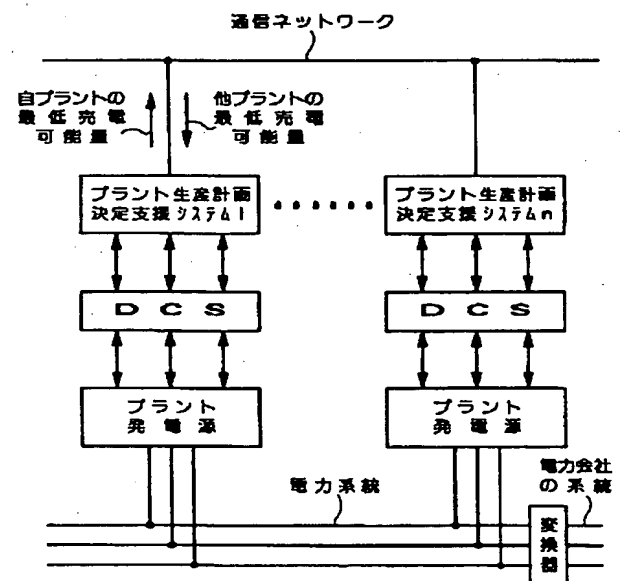
【図10】

## プラント生産計画決定支援システムの機能構成



【図13】

## プラント生産計画決定支援システムのネットワーク機能



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 6 F 15/21

R